



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenl gungsschrift
⑩ DE 42 19 691 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 J 4/04
G 01 N 21/21
G 01 B 11/30

②1 Aktenzeichen: P 42 19 691.4
②2 Anmeldetag: 16. 6. 92
④3 Offenlegungstag: 23. 12. 93

DE 42 19 691 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Reisinger, Hans, Dipl.-Phys. Dr., 8022 Grünwald, DE

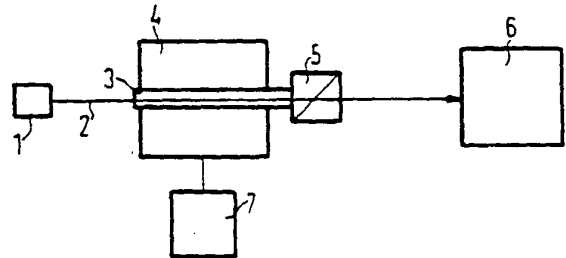
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 40 13 211 A1
DE 38 30 310 A1
DE 36 44 705 A1
DE 32 04 295 A1
EP 01 65 771 B1
SU 16 96 896 A1
SU 14 02 857

ROBERTS, E.;
MEADOWS, A.: A high precision auto- matic
ellipsometer using grating goniometers. In: Journal
of Physics E, Vol.7, No.5, May 1974, S.379-386;

⑤4 Meßvorrichtung zur Bestimmung der Richtung der Polarisations-ebene von linear polarisiertem Licht

⑤7 Eine Meßvorrichtung zur Bestimmung der Polarisations-ebene von linear polarisiertem Licht umfaßt einen Schrittmotor (4) mit einer Hohlachse (3) und einer Ansteuerschaltung (7), ein Polarisationsprisma (5) und einen elektrooptischen Detektor (6). Das Licht wird durch die Hohlachse (3) und das Polarisationsprisma (5) auf den elektrooptischen Detektor (6) gelenkt. Die Ansteuerschaltung (7) umfaßt Mittel zur Korrektur der Positionierungsgenauigkeit des Schrittmotors und ein aktives Dämpfungsglied, das nach dem Anfahren einer Zielposition eingeschaltet wird.



DE 42 19 691 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Beschreibung

In Ellipsometern, speziell Nullellipsometern, werden Vorrichtungen zur Messung der Polarisationsrichtung von linear polarisiertem Licht verwendet. Dabei muß die Polarisationsrichtung mit einer Genauigkeit von etwa $0,01^\circ$ gemessen werden. Die Meßzeit sollte dabei so kurz wie möglich sein.

Zur Bestimmung der Polarisationsrichtung wird dabei ein Lichtstrahl von einer Lichtquelle mit Hilfe eines Analysators und eines Strahlungsdetektors analysiert. Als Analysator wird ein Polarisationsprisma verwendet, das von dem Licht durchstrahlt wird. Die Intensität des durch das Polarisationsprisma durchgelassenen Lichtes ist dabei eine Funktion des Winkels α zwischen dem Polarisationsprisma und der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes: $I(\alpha) = C \sin^2(\alpha + 90^\circ)$, wobei I die Intensität am Strahlungsdetektor und C eine Konstante ist. Die Verteilung der Intensität um das Minimum ist dabei in guter Näherung eine Parabel. Durch Messung des Intensitätsminimums läßt sich die Polarisationsrichtung exakt bestimmen. Das Minimum der Intensitätskurve $I(\alpha)$ und damit die Polarisationsrichtung läßt sich durch Messung von mindestens drei Punkten um die Lage des Parabelminimums genau bestimmen.

Zur Einstellung des Winkels des Polarisationsprismas ist es bekannt, ein präzises Getriebe mit einer Übersetzung von etwa 1 : 100 und einen geeigneten Motor zu verwenden. In dieser Anordnung wird die erforderliche Genauigkeit erreicht, die Zeit für die Positionierung des Polarisationsprismas liegt jedoch in der Größenordnung von mehreren Sekunden.

Um den Einfluß von zeitlichen Veränderungen z. B. der Lichtquelle auf die Messung zu vermeiden, muß die Positionierung des Polarisationsprismas in den verschiedenen Stellungen erheblich schneller möglich sein. Eine schnellere Positionierung des Analysators läßt sich dadurch erreichen, daß das Polarisationsprisma direkt durch die Achse eines Schrittmotors angetrieben wird. Da Schrittmotoren infolge von mechanischen Toleranzen sowie Hystereseeffekten bei der Positionierung Fehlerwinkel in einer Größe von etwa 3 bis 5% des Schrittwinkels aufweisen, ist eine hochgenaue absolute Positionierung nicht ohne weiteres möglich.

Da jedoch die Rotorpositionen in einem Schrittmotor mit einer Genauigkeit unter $0,01^\circ$ reproduzierbar sind, können in Anwendungen, bei denen es nur auf die Reproduzierbarkeit der einzelnen Positionen ankommt, die absoluten Winkel unter Verwendung von bei Eichmessungen gewonnenen Korrekturwinkeln korrigiert werden.

Aus S. Kloppenburg et al Elektronikjournal 1-2/92, Seite 30 bis 36 ist ein Drehversteller bekannt, der ein fehlerkorrigiertes Schrittsystem umfaßt. Ein Fünfphasenschrittmotor mit 500 Voltschritten wird dabei rechnergesteuert, so daß eine Auflösung von 630.000 bzw. 360.000 Schritten pro Umdrehung möglich ist. Die Ansteuerung berücksichtigt die Korrektur der Fehler der absoluten Positionen. Die Fehler werden in Eichmessungen zuvor festgestellt und im Rechner gespeichert. In einem Ellipsometer wird der Drehversteller zur Positionierung des Analysators verwendet. Dabei wird das Minimum der Intensitätsparabel direkt angefahren. Dazu müssen mit dem Schrittmotor Bruchteile von Voltschritten angefahren werden, was die Verwendung einer hochpräzisen Stromquelle erforderlich macht.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Meß-

vorrichtung zur Bestimmung der Richtung der Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht anzugeben, die einfach und kostengünstig aufgebaut ist und mit der eine schnelle Positionierung möglich ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Meßvorrichtung nach Anspruch 1. Die Zeit für eine Drehung des Rotors eines Schrittmotors kann durch geeignete elektrische Ansteuerung sehr kurz, typisch 100 msec, gehalten werden. Beim Erreichen der Zielposition schwingt jedoch der Rotor des Schrittmotors um die Gleichgewichtslage. Die Schwingungsamplitude liegt dabei in der Größenordnung der Schrittweite. Die Schwingung erfolgt mit einer Dämpfungszeitkonstante von etwa 100 msec. Während dieser Schwingung ist eine Messung der Intensität in dem elektrooptischen Detektor nicht möglich. Die Schwingung verlängert daher die Zeit zwischen zwei Messungen erheblich. Diese Schwingung wird in der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung durch das aktive Dämpfungsglied gedämpft, so daß die Zeit zwischen zwei Messungen drastisch reduziert wird.

Es ist besonders vorteilhaft, aus jeder Phasenwicklung des Schrittmotors die Gegen-EMK abzugreifen und über eine Phasenanpassung phasenrichtig auf den Eingang eines Schrittmotortreibers zu geben. Da die Gegen-EMK des Schrittmotors proportional zur Winkelgeschwindigkeit des Rotors ist, führt sie durch phasenrichtige Einkopplung auf den Eingang des Schrittmotortreibers zu einer sehr effektiven Dämpfung der Schwingung. Auf diese Weise reduziert sich die Dämpfungszeitkonstante auf Werte unter 10 msec. Da die Gegen-EMK an der Phasenwicklung des Schrittmotors ohnehin anliegt, stellt diese Ausgestaltung des Dämpfungsglieds eine sehr einfache und preisgünstige Lösung dar.

Da in der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung die Zielpositionen des Polarisationsprismas innerhalb von weniger als 100 msec. angefahren werden und damit innerhalb dieser Zeit Messungen möglich sind, kann auf ein direktes Anfahren des Minimums der Intensitätsparabel verzichtet werden. Mit der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung ist es möglich, innerhalb kurzer Zeit mindestens drei Punkte der Intensitätsparabel um das Intensitätsminimum zu messen. Damit ist es ausreichend, den Schrittmotor in Voltschritten anzusteuern. Bei der Ansteuerung von Voltschritten ist es ausreichend, den Nulldurchgang der Leistungsstromquelle des Schrittmotortreibers auszunutzen. Der Nulldurchgang eines Stromverlaufes läßt sich mit hoher Genauigkeit auch für wenig präzise Stromquellen feststellen. Daher ist es in der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung ausreichend, eine einfache Leistungsstromquelle vorzusehen.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, daß das Dämpfungsglied ein Tiefpaßfilter umfaßt, das hochfrequente Störungen des Schrittmotortreibers unterdrückt.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Meßvorrichtung einen Mikrocomputer, der über einen D/A-Wandler den Schrittmotortreiber unter Berücksichtigung der Positionierungsgenauigkeit ansteuert und der nach dem Anfahren der Zielposition das Dämpfungsglied einschaltet.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den übrigen Ansprüchen hervor.

Im weiteren wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Meßvorrichtung zur Bestimmung der Richtung der Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild der Ansteuerschaltung.

tung.

Fig. 3 zeigt eine Messung des Rotorwinkels als Funktion der Zeit nach Ausführung eines Schrittes.

Von einer Lichtquelle 1, die z. B. ein Laser mit einem Polarisator ist, wird ein linear polarisierter Lichtstrahl 2 ausgesandt. Der Lichtstrahl 2 durchquert eine Hohlachse 3 eines Schrittmotors 4. Auf der Hohlachse 3 des Schrittmotors 4 ist als Analysator z. B. ein Polarisationsprisma 5 angeordnet. Der Lichtstrahl 2 durchquert das Polarisationsprisma 5 und trifft auf eine lichtempfindliche Fläche eines elektrooptischen Detektors 6. Als elektrooptischer Detektor 6 wird z. B. eine Silizium-Diode verwendet. Umfaßt die Lichtquelle 1 eine schwächere Lichtquelle als einen Laser, so wird als elektrooptischer Detektor 6 z. B. ein Photomultiplier verwendet. Der Schrittmotor 4 ist mit einer Ansteuerschaltung 7 versehen (s. Fig. 1).

Die Ansteuerschaltung 7 umfaßt einen Mikrocomputer 71 (s. Fig. 2). In dem Mikrocomputer 71 sind als Ergebnis von Eichmessungen Fehlerkorrekturen für die einzelnen Zielpositionen des Schrittmotors 4 gespeichert. Ein Digital/ Analog-Wandler 72 wird von einem digitalen Signal des Mikrocomputers 71 angesteuert. Der Digital/Analog-Wandler 72 gibt ein Analogsignal auf einen Eingang eines Differenzverstärkers 73. Der zweite Eingang des Differenzverstärkers 73 ist mit Nullpotential verbunden. Der Ausgang des Differenzverstärkers 73 steuert einen Schrittmotortreiber 74 mit einer Leistungsstromquelle an. Der Ausgang des Schrittmotortreibers 74 ist mit einer Phasenwicklung 75 des Schrittmotors 4 verbunden.

An der Phasenwicklung 75 des Schrittmotors wird die Gegen-EMK abgegriffen und auf den Eingang eines Phasenangepassungsgliedes 76 gegeben. Das Phasenangepassungsglied 76 umfaßt z. B. einen invertierenden Verstärker. Mit dem Phasenangepassungsglied 76 ist ein Tiefpaßfilter 77 zur Unterdrückung hochfrequenter Störungen in Reihe geschaltet. Das Tiefpaßfilter 77 ist über einen ansteuerbaren Schalter 78 mit dem Ausgang des Digitalanalogwandlers 72 und dem Eingang des Differenzverstärkers 73 verbunden. Der ansteuerbare Schalter 78 wird durch das digitale Signal des Mikrocomputers 71 angesteuert. Nach dem Anfahren einer Zielposition wird der Schalter 78 geschlossen und dadurch die Gegen-EMK phasenrichtig auf den Eingang des Differenzverstärkers 73 gegeben. Solange die Gegen-EMK größer als Nullpotential ist, wird der Schrittmotortreiber von einem von 0 verschiedenen Signal am Ausgang des Differenzverstärkers 73 angesteuert und dadurch wird die Schwingung des Rotors aktiv gebremst. In dem Blockschaltbild ist die Ansteuerung nur für eine Phasenwicklung dargestellt. Die Ansteuerung der anderen Phasenwicklung in einem Zweiphasenschrittmotor erfolgt analog.

In Fig. 3 ist als Funktion der Zeit t der Rotorwinkel x in Grad dargestellt. Als durchgezogene Linie ist der Einschwingvorgang für einen Schrittmotor ohne Dämpfung dargestellt. Es zeigt sich eine deutliche Schwingung nach dem Anfahren der Zielposition, die mit einer Dämpfungszeitkonstante von etwa 100 msec abklingt. Als gestrichelte Linie ist der Einschwingvorgang dargestellt, wie er in einer erfindungsgemäßen Meßvorrichtung erfolgt. In diesem Fall beträgt die Dämpfungszeitkonstante weniger als 10 msec.

der Polarisationsebene von linear polarisiertem Licht,

— bei der ein Schrittmotor (4) mit einer Hohlachse (3) und einer Ansteuerschaltung (7), einem Analysator (5) und einem elektrooptischen Detektor (6) vorgesehen sind,

— bei der der Analysator (5) auf der Hohlachse (3) befestigt ist und der elektrooptische Detektor (6) in Verlängerung der Hohlachse (3) so angeordnet ist, daß Licht durch die Hohlachse (3) und den Analysator (5) auf den elektrooptischen Detektor (6) gelenkt wird,

— bei der die Ansteuerschaltung (7) Mittel (71) umfaßt zur Korrektur zur Positioniergenauigkeit des Schrittmotors (4),

— bei der die Ansteuerschaltung ein aktives Dämpfungsglied (76) umfaßt, das nach dem Anfahren einer Zielposition eingeschaltet wird.

2. Meßvorrichtung nach Anspruch 1, bei der in dem Dämpfungsglied (76) aus jeder Phasenwicklung des Schrittmotors die Gegen-EMK abgegriffen wird und über eine Phasenanpassung phasenrichtig auf den Eingang eines Schrittmotortreibers gegeben wird.

3. Meßvorrichtung nach Anspruch 2, bei der das Dämpfungsglied ein Tiefpaßfilter (77) umfaßt, das hochfrequente Störungen des Schrittmotortreibers (74) unterdrückt.

4. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der ein Mikrocomputer vorgesehen ist, der über einen Digital/Analog-Wandler (72) den Schrittmotortreiber (74) unter Berücksichtigung der Positioniergenauigkeit ansteuert und der nach dem Anfahren der Zielposition das Dämpfungsglied einschaltet.

5. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der als Analysator ein Polarisationsprisma (5) verwendet wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Meßvorrichtung zur Bestimmung der Richtung

- Leerseite -

FIG 1

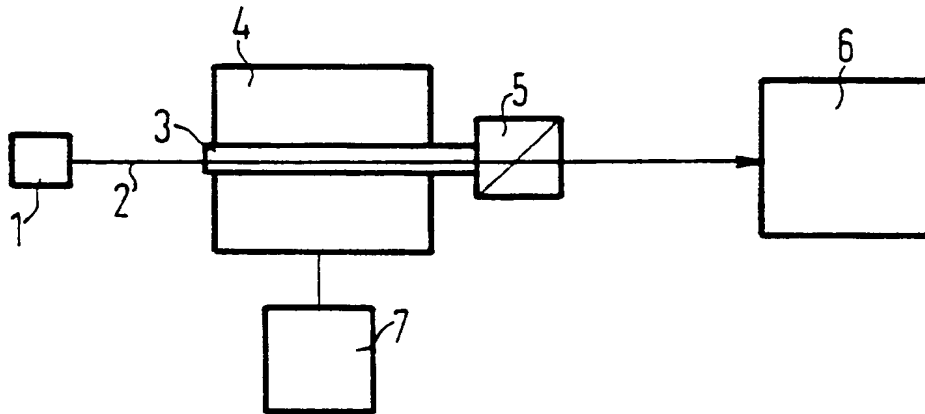


FIG 2

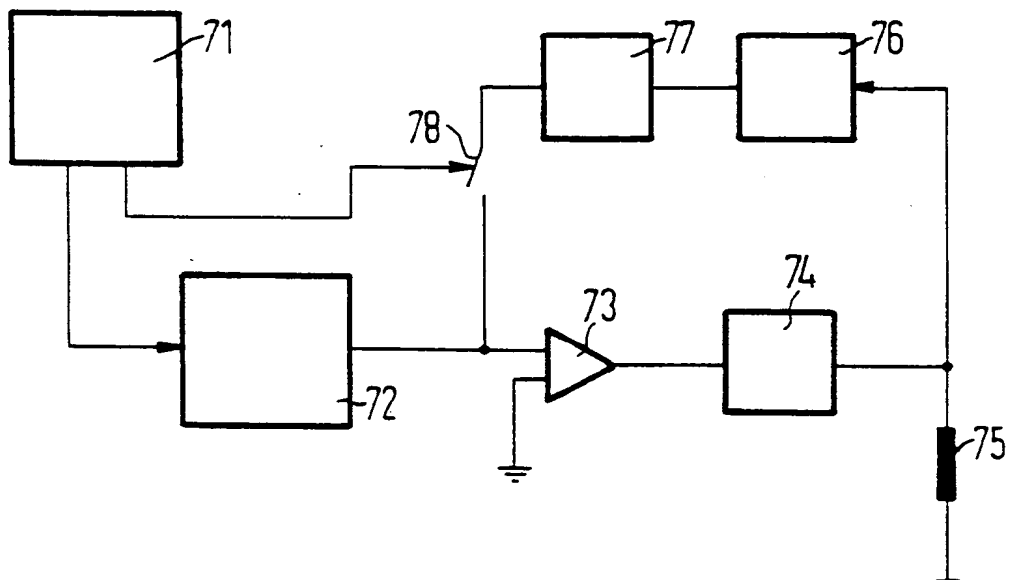


FIG 3

